ane Medical Library

Aus der Universitäts-Ohren-, Nasen-, Halsklinik München.
Vorstand: Professor Dr. Brünings.

Es sollen Untersuchungen angestellt werden über das Erkennen der Richtung von akustischen Kraftfahrzeugsignalen im Stadtverkehr, und zwar von seiten normal Hörender und gegebenenfalls auch einseitig Schwerhöriger.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin

verfaßt und einer

Hohen Medizinischen Fakultät der Bayerischen Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Hildegard Bitterauf

aus München.

München 1934

Bayerische Druckerei & Verlagsanstalt G. m. b. H., Müllerstr. 27

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Bayer. Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Referent:
Prof. Dr. Brünings.

Disposition.

		Seite
A.	Einleitung und Zweck der Arbeit	5
B.	I. Theorie des Richtungshörens	7
	a) Intensitätstheorie (Kreidl u. Gatscher)	8
	b) Phasendifferenztheorie (Hartley u. Fry)	9
	c) Zeitdifferenztheorie (Hornbostel u. Wertheimer) . . .	9
	II. Praktische Versuche	16
C.	Richtungshören von Autosignalen	18
	I. In der Großstadt	18
	II. Auf der Landstraße	21
	III. Bei künstlichen Versuchsbedingungen	22
	IV. Versuche mit einem einseitig Tauben	23
D.	Schluß: praktische Folgerungen	24
E.	Zusammenfassung	24
F.	Literaturangabe.	

Ich gebe die eidesstattliche Versicherung ab, daß keine weitere Beihilfe stattgefunden hat, als die in der Arbeit erwähnte.

A.

Einleitung.

Bis zum Jahre 1910 wurde in Deutschland zum Autofahren keine Gesundheitsbestätigung gefordert. Das Autogesetz vom 3. Mai 1909 verlangte zum erstenmal vom Kraftfahrer ein bestimmtes gesundheitliches Minimum. Hier interessieren uns nur die die Hörfähigkeit betreffenden Vorschriften.

Erwähnt sei an dieser Stelle, daß man in Amerika dem Hörvermögen der Autofahrer keinen ausschlaggebenden Wert beimißt. Dort dürfen Taube Auto fahren, ja sie sind sogar zu einem eigenen Autoklub zusammengeschlossen. Eine Statistik stellte fest, daß hier, in Prozenten berechnet, die wenigsten Unglücksfälle vorkamen.

In Deutschland mußte nach dem Gesetz vom 3. Mai 1909 die Flüstersprache in 3 Meter Entfernung wenigstens auf einem Ohr verstanden werden. Demgegenüber enthält die neue Kraftfahrverordnung vom 10. Mai 1932 wesentliche Verschärfungen. Sie lautet folgendermaßen:

„Bei Prüfung des Hörvermögens sind beide Ohren zu prüfen und ist festzustellen, in welcher Entfernung die gebräuchliche Umgangssprache deutlich verstanden wird. Es genügt, wenn sie auf jedem Ohr ohne Zuhilfenahme eines Hörrohrs oder einer ähnlichen Hilfsvorrichtung auf fünf Meter bei abgewendetem Gesicht des zu Untersuchenden sicher verstanden wird. Wird diese Grenze auf einem oder beiden Ohren nicht erreicht oder liegen diagnostisch oder prognostisch schwer zu beurteilende Ohrenkrankheiten vor oder bestehen sonst Zweifel, so ist das Gutachten eines Ohrenarztes zu verlangen. Die von diesem vorzunehmende Untersuchung soll umfassen: Besichtigung des Trommelfells (bei Fehlen desselben der Paukenhöhle), Feststellung der oberen und unteren Hörgrenze sowie der Hörschärfe (des zum Hören ausreichenden Intensitätsminimums) für je eine Tonhöhe aus jeder Oktave; Vergleich der Luft- und Knochenleitung; Prüfung des Verstehens der Umgangssprache und Flüstersprache und der Fähigkeit zur Wahrnehmung der Schallrichtung. Bestehen nach dem Gesamtergebnis der Untersuchung des Facharztes noch Zweifel über die Geeignetheit des Bewerbers, so ist die ohrenärztliche Untersuchung durch eine Probefahrt zu ergänzen, bei der auf die Fähigkeit zur Wahr-

nehmung und Beurteilung der Hörzeichen des Straßenverkehrs (Hupensignale, Klingelzeichen der Straßenbahnen und Radfahrer, Zurufe, Geräusche von Eisenbahnzügen an Eisenbahnübergängen) im Geräusche des eigenen Fahrzeugs und dabei insbesondere auch auf die Fähigkeit zur Wahrnehmung der Schallrichtung dieser Hörzeichen besonders zu achten ist.

Falls der Facharzt mit Rücksicht auf die Art der Erkrankung (z. B. Otosklerose) eine Nachprüfung nach einer bestimmten Zeit für erforderlich hält, hat er dies in seinem Gutachten anzugeben und den ungefähren Zeitpunkt für die Untersuchung vorzuschlagen.

(Abdruck der Ziff. I a Abs. 2 f. der Anweisung über die Prüfung der Führer von Kraftfahrzeugen, Anlage zu § 14 Abs. 5 der Kraftfahrzeugverordnung vom 10. Mai 1932 — Reichsgesetzblatt Teil I Nr. 29/1932.)"

Hier wird also im Unterschied zum Autogesetz vom 5. Mai 1909 binaurales Hören verlangt: Mit jedem Ohr allein muß die Umgangssprache in 5 Meter Entfernung verstanden werden. Als zweite Neuerung verlangt das Gesetz eine Prüfung der Wahrnehmung der Schallrichtung, ausgehend von der Annahme, daß es für den Fahrer wichtig sei, die Hupensignale der Autos richtig zu lokalisieren.

Der Verfasserin dieser Arbeit ist nicht bekannt, auf Grund welcher Tatsachen oder Lehrmeinungen diese neue Forderung des Automobilgesetzes vom 10. Mai 1932 aufgestellt wurde. Sollten derartige Unterlagen überhaupt vorhanden sein, so erscheint eine Nachprüfung und Angabe ihrer Quellen dringend erwünscht, andernfalls, d. h. wenn entsprechende Unterlagen nicht existieren, muß es als auffallend bezeichnet werden, daß eine derartig grundsätzliche und weitgehende Forderung an die Leistungen des Autoprüflings offenbar „vom grünen Tisch aus" aufgestellt worden ist. Auffallend ist außerdem, daß der Gesetzgeber sich darüber ausschweigt, in welcher Weise die Fähigkeit und der Grad des Richtungshörens bei dem Autofahrer festzustellen ist. Es erscheint bei dieser Sachlage dringend erwünscht, diese neue Forderung – wenigstens nachträglich — bezüglich ihrer Berechtigung einer theoretischen und praktischen Prüfung zu unterziehen.

Durch vorliegende Arbeit sollte festgestellt werden, ob im Großstadtlärm die kurzen im Straßenverkehr üblichen Hupensignale der Autos von Normalhörenden richtig lokalisiert werden, oder welche und wie viele Fehler dabei unterlaufen.

Daneben dürften diese praktischen Versuche auch für eine öfter auftauchende Rechtsfrage von Bedeutung sein, insofern als sich häufig die Frage erhebt, ob Warnungssignale vor Straßenkreuzungen und an unübersichtlichen Stellen nicht nur das Herannahen eines Fahrzeuges, sondern auch die Richtung, aus der es kommt, erkennbar machen. Zahlreiche Gerichtsverhandlungen mußten sich damit befassen, festzustellen, ob bei Unglücksfällen der Verunglückte

durch das abgegebene Signal die Richtung des herannahenden Fahrzeugs hätte erkennen und damit den Unfall selbst hätte verhüten können.

Die Fähigkeit der Schallokalisation beim Normalhörenden wurde bereits durch Laboratoriumsversuche und in ihrer praktischen Anwendung im täglichen Leben von verschiedenen Seiten studiert. Diese praktischen Versuche sowie die zur Erklärung des komplizierten Vorgangs des Richtungshörens aufgestellten Theorien müssen als Voraussetzung für die hier zu schildernden Versuche im Großstadtlärm kurz besprochen werden.

B.

I.

Man ist sich heute darüber einig, daß das Richtungshören, d. h. die Fähigkeit des Ohres, die Lage einer Schallquelle im Raum zu bestimmen, auf einem Zusammenwirken beider Gehörorgane beruht.

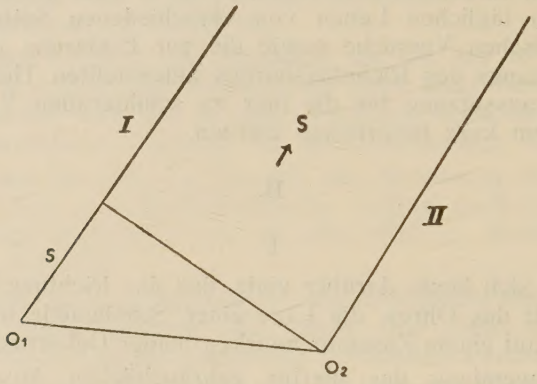
Bei Anwendung des hierfür gebräuchlichen Ausdrucks des „stereoakustischen Hörens" möchte man natürlich zunächst an die Analogie mit dem beidäugigen stereoskopischen Sehen denken und demnach darunter die räumliche Entfernung oder Differenz einer oder mehrerer Schallquellen verstehen. In diesem Sinn ist die Analogie zwischen stereoskopisch und stereoakustisch jedoch nicht durchführbar, da Sinneseinrichtungen für akustische Entfernungsschätzungen nicht bestehen, während sie beim Auge in ausgesprochenem Maße vorhanden sind. Es handelt sich beim stereoakustischen Hören im wesentlichen um die mit beiden Ohren — binaural — wahrnehmbare Schallrichtung. Zwar kommt jedem Ohr für sich allein einigermaßen die Fähigkeit der Schallokalisation zu, jedoch dürften bei dieser monotischen Lokalisation andere Mechanismen wirksam sein wie bei der diotischen, und ein normal ausgebildetes Richtungshören findet sich nur bei beiderseitig intaktem Hörvermögen.

Mehrere Theorien sind zur Erklärung des Richtungshörens aufgestellt worden, ohne daß durch eine allein alle Vorgänge restlos erklärt werden könnten.

Man kann im wesentlichen unterscheiden zwischen den älteren Theorien, die die Fähigkeit der Schallokalisation an einem bestimmten Teil unseres Gehörorganes, z. B. Trommelfell, Ohrmuschel usw. gebunden erachten, und den neueren sog. akustischen Theorien, die gemeinsam das Schwergewicht der Erklärung auf eine verschiedenartige Reizung beider Gehörorgane legen.

Es bestehen drei Möglichkeiten dafür, daß der Schall beide Gehörorgane in verschiedenartiger Weise erregt, jede davon wurde Ausgangspunkt einer eigenen Theorie. Sie seien an einer Skizze erörtert: O_1 und O_2 mögen die Ohren des Beobachters darstellen.

S sei eine Schallwelle in solcher Entfernung, daß die zu den Ohren gelangenden Schallwellen als parallel angesprochen werden können. Der Schallweg SO_1 ist um die Strecke s länger als der Weg SO_2. Das Schallbild in O_1 kann daher in verschiedener Weise anders sein als in O_2.



Einmal kann der Schall in dem der Schallquelle angenäherten O_2 lautstärker sein als in O_1, da ja die Intensität des Schalles mit zunehmender Entfernung ungefähr quadratisch abnimmt (Intensitätstheorie Kreidl und Gatscher).

Zweitens ist die Phase für reine Töne, d. h. die jeweils korrespondierenden Punkte der Sinusschwingungen einer Schallquelle in O_2 anders wie in O_1, falls die Strecke nicht zufällig gleich der Wellenlänge oder einer vielfachen derselben ist (Phasendifferenztheorie Hartley und Fry).

Drittens wird der Schall in O_1 zeitlich später eintreffen als in O_2, und zwar um diejenige Zeitdifferenz, die der Schall zur Durcheilung dieser Strecke S braucht.

Dies sind, in groben Zügen dargestellt, die Grundlagen der drei akustischen Theorien, der Intensitätstheorie, der Phasendifferenztheorie und der Zeitdifferenztheorie.

Die Intensitätstheorie (Kreidl und Gatscher) ist die älteste der drei akustischen Theorien. Den komplizierten Vorgang beim Richtungshören erklärt sie folgendermaßen: Wahrnehmung einer verschiedenen Schallintensität auf dem rechten und dem linken Ohr, Beurteilung des Verhältnisses dieser beiden Intensitäten und Schlußfolgerung daraus auf die Lage der Schallquelle im Raum.

Ein zur Kontrolle angestellter Laboratoriumsversuch spricht gegen diese Theorie: Leitet man das tickende Geräusch einer Uhr über zwei mit Wechselstrom verschiedener Intensität, jedoch mit gleicher Phase beschickte Stromkreise zu den Kopfhörern einer Versuchsperson und verändert die Intensität in einem der beiden Stromkreise bei gleichbleibender Phase, so wird bei der Versuchsperson keinerlei Gefühl der Richtungsänderung hervorgerufen.

Ein zweiter Einwand gegen diese Theorie ergibt sich aus der häufig vorkommenden praktischen Tatsache, daß Patienten, deren Hörschärfe auf beiden Seiten differiert, trotzdem ein vorzüglich ausgebildetes Schallokalisationsvermögen besitzen. Voraussetzung ist natürlich, daß das Hörvermögen auf beiden Ohren über der Reizschwelle für den betreffenden Schall liegt.

Die zweite zur Erklärung des Richtungshörens aufgestellte Theorie ist die Phasendifferenztheorie (Hartley und Fry). Von einer Schallquelle im freien Raum treffen die Wellen in verschiedener Phase die beiden Ohren, d. h. Wellenberg und Wellental, oder aber Verdichtungs- und Verdünnungsmaximum langen nicht zur gleichen Zeit an. Diese Phasendifferenz muß bei gleicher Entfernung der Schallquelle um so größer ausfallen, je geringer die Wellenlänge, je höher also die Schwingungsfrequenz des betreffenden Tones ist. Der Phasenunterschied ist also bei gleicher Entfernung von der Wellenlänge abhängig, daraus ergibt sich, daß er bei höheren Tönen über die Winkelrichtung unter bestimmten Bedingungen sogar über rechts und links täuscht. Daher kam Lord Raileigh zu der Annahme, daß nur für die Lokalisation der tiefen Töne die Phase das Ausschlaggebende sei, für die der hohen zog er die Intensitätstheorie zur Erklärung heran. Damit erfährt der Geltungsbereich der Phasentheorie von vornherein eine starke Einschränkung.

Ein noch wesentlicherer Einwand gegen diese Theorie ergibt sich aber daraus, daß sie nur die Wahrnehmung der Schallrichtung bei reinen Tönen, nicht aber bei Geräuschen erklärt, da diesen ja kein regelmäßiger Schwingungsverlauf zukommt. Geräusche spielen aber beim natürlichen Hören im täglichen Leben eine viel größere Rolle. Außerdem erfolgt deren Lokalisation genauer wie die der reinen Töne.

Die modernste der drei akustischen Theorien ist die von Hornbostel-Wertheimer'sche Zeitdifferenztheorie.

Stellen wir uns vor, daß direkt in der Medianebene vor uns ein Schuß abgegeben werde, dann erreicht der Schall das rechte und das linke Ohr zu gleicher Zeit. Rückt aber die Schallquelle aus der Medianebene heraus, so ergibt sich für das Eintreffen des Schalles an beiden Ohren ein Zeitunterschied, der um so größer ist, je weiter sich die Schallquelle von der Medianebene entfernt.

Betrachten wir wieder die vorhin beschriebene Skizze, so ersieht man daraus, daß, da der Schallweg SO_1 um die Strecke s länger ist wie der Weg SO_2, der Schall in O_1 zeitlich später eintrifft als in O_2, und zwar um die Zeitdifferenz, die er zur Durcheilung der Strecke s braucht. Die Strecke s ist aber am größten, wenn die Schallquelle sich in 90 Grad Seitlichkeit befindet, wenn sie also ungefähr in der Ohrachse liegt. Die Schallquelle kann sich

also im Winkel von 0—90 Grad verändern. Die Untersuchungen darüber, welcher geringster Winkelgrad der Abweichung der Schallquelle von der Medianebene oder welche geringste Wegstreckendifferenz sich als Richtungsänderung wahrnehmbar macht, führten zu folgendem Resultat: Wenn sich die Schallquelle 3 Grad von der Medianebene entfernt, wird eine Richtungsänderung angegeben. Nach Versuchen von Brünings wurden bei sehr ruhiger Umgebung und niedriger Frequenz von intelligenten Personen, sogar I, 5 Grad Schallverschiebung als Richtungsänderung erkannt. Allerdings wird der Winkelunterschied bei Abweichung von der Medianebene am genauesten erkannt; bei mehr seitlich gelegenen Abweichungen arbeitet unser Lokalisationsvermögen ungenauer.

Durch Berechnung kann man aus diesen Versuchsergebnissen den Zeitunterschied der Schallankunft am rechten und linken Ohr feststellen. Er beträgt beim kleinsten Winkel von 3 Grad 3. 10^{-5} Sekunden und bei einem Winkel von 90 Grad 63. 10^{-5} Sekunden. Alle in der Natur vorkommenden seitlichen Richtungsbestimmungen liegen also zwischen den zeitlichen Grenzwerten 3. 10^{-5} und 63. 10^{-5} Sekunden. Diesen Schwellenwerten für den Zeitunterschied entsprechen ebensolche für die Wegstreckendifferenz. Dem Zeitunterschied 3. 10^{-5} Sekunden entspricht die Strecke 1 cm, d. h. wir empfinden eine Schallquelle gerade als seitlich, wenn sich die Entfernungen zwischen ihr und je einem Ohr um 1 cm unterscheidet. Liegt sie 90 Grad Seitlichkeit, entsprechend einem Zeitunterschied von 63. 10^{-5} Sekunden, so beträgt die Wegdifferenz zu den beiden Ohren 21 cm. Nach Hornbostel und Wertheimer besteht zwischen dem Richtungswinkel φ, dem Wegunterschied s und der empirischen Konstante k die Gleichung $s = K. \sin \varphi$. Benützt man zwei künstliche Empfänger, also z. B. zwei Mikrophone, und führt dann durch getrennte Leitungen zum Ohr, so muß der Abstand 21 cm betragen, wenn die Schallrichtung subjektiv genau so empfunden werden soll wie beim Hören mit freien Ohren. $K = 21$ cm wird daher auch die Basis des binauralen Hörens genannt.

Der Wert dieser empirischen Konstante $K = 21$ cm ist noch nicht klargestellt. Er entspricht nicht dem Ohrabstand und auch nicht dem halben Kopfumfang; man hat aber immerhin daran gedacht, daß der Wert dieser Konstante bei den verschiedenen Tierarten variiert, so daß für jede Tierart eine eigene Konstante bestünde. Es wäre übrigens auch möglich, daß die Unterschiedsempfindlichkeit für die Zeitdifferenz bei den einzelnen Tierarten verschieden ist, somit könnten manche Tierarten eine bessere und feinere Richtungswahrnehmung haben wie der Mensch.

Um diese Theorie auf ihre Richtigkeit zu prüfen, wurden von physikalischer Seite Laboratoriumsversuche unternommen. Da die Wahrnehmung der Schallrichtung auf einer Zeitdifferenz beruhen soll, muß sich durch künstlich erzeugte Zeitdifferenzen bei der Ver-

suchsperson der Eindruck der Richtungsänderung hervorrufen lassen. Man führte den Schall durch eine gegabelte Leitung, in deren beiden Zweigen Teleskopröhren mit Einteilung eingeführt waren, zu den beiden Ohren der Versuchsperson. Bei gleicher Weglänge erscheint der Schall in der Mitte, bei einer Wegverkürzung von 1 cm auf der einen Seite der Leitung erscheint er eben seitlich auf der verkürzten Seite. In 90 Grad Seitlichkeit erscheint er bei einer Weglänge von 21 cm. Vergrößert man den Wegunterschied über 21 cm, so bleibt das Schallbild auf seiten der kürzeren Leitung, ähnelt aber einohrig gehörtem Schall, d. h. es wird ungegenständlicher und verschwommener. Aendert man die Intensität entgegen der Zeitverschiebung, so wird der Richtungseindruck weder bei Geräuschen noch bei Tönen verändert.

Weitere Experimente wurden in Medien mit verschiedener Schallgeschwindigkeit angestellt. Schallgeschwindigkeit im leitenden Medium und Zeitverschiebung sind einander indirekt proportional, daher muß der Richtungseindruck derselbe bleiben, wenn man bei verschiedenen Medien den Wegunterschied proportional der Schallgeschwindigkeit verändert. Mit unter Wasser getauchtem Kopf wird ein Schall aus 90 Grad Seitlichkeit unter einem Winkel von 15 Grad lokalisiert, da Wasser den Schall ungefähr viermal schneller leitet wie Luft, die Zeitverschiebung daher viermal kleiner wird.

So einleuchtend die Theorie ist und so beweisend auch die Laboratoriumsversuche scheinen, so ist sie doch nicht imstande, alle Erscheinungen des Richtunghörens zu erklären.

Die Ankunftszeit des Schalls am Ohr ist der wichtigste und entscheidende Punkt für diese Theorie. Um eine Ankunftszeit kann es sich aber nur bei nicht stationären, d. h. plötzlich entstehenden und plötzlich wieder verschwindenden Geräuschen oder Tönen handeln. Denn bei stationären Schallfeldern, d. h. bei langgezogenen Tönen, z. B. einer Sirene, kommt ja eine Dauerreizung beider Ohren zustande und somit verliert der Begriff der verschiedenen Ankunftszeit seinen Sinn. Die Theorie versagt daher bei der Erklärung dieser Erscheinung. Hier könnte vielleicht die Phase eine gewisse, wenn auch untergeordnete Rolle spielen. Laboratoriumsversuche haben in dieser Richtung zu keinem eindeutigen Resultat geführt; allerdings könnte dies auch in der Natur der Sache begründet liegen, denn es ist ja Erfahrungstatsache, daß bei natürlichem binauralen Hören kurze Geräusche, z. B. Schüsse, viel besser lokalisiert werden wie langgezogene Töne.

Ein wichtiger Einwand gegen alle Theorien, die auf der Annahme basieren, daß das Schallokalisationsvermögen auf Unterschieden der Schalleinwirkung auf das rechte und linke Ohr beruhten, ergibt sich aus der Tatsache, daß wir den Schall in den verschiedenen Punkten der Medianebene zu lokalisieren vermögen.

Hier sind die Bedingungen für beide Ohren gleich, folglich müßte nach den akustischen Theorien eine Unterscheidung von Schallrichtungen nicht möglich sein.

Ebenso müßte bei einseitiger Taubheit das Schallokalisationsvermögen vollständig aufgehoben sein. Es sind aber zahlreiche Fälle beschrieben, bei denen es zwar ungenau, aber doch bis zu einem gewissen Grade vorhanden war.

Da die Zeitdifferenztheorie vornehmlich in diesem letzten Punkt versagt, hat man versucht, bestimmten Teilen des Ohres eine unterstützende Rolle beim Richtungshören zuzuschreiben und hat damit zum Teil auf die älteren Theorien zurückgegriffen.

Sehr umstritten ist die Frage nach der Bedeutung der Ohrmuschel. Die Erfahrung lehrt, daß der Verlust einer Ohrmuschel keinerlei nennenswerte Aenderung des Hörvermögens bedingt. Nach älteren Autoren sollte die Ohrmuschel doppelte Bedeutung haben: Schallverstärkung und Schallokalisation. Die Erhabenheiten und Vertiefungen der Muschel sollten als Reflektor für die auftreffenden Schallwellen dienen, dabei sollten Durchkreuzungen der einzelnen Wellen entstehen, die Verstärkungen des Tones durch Zusammentreffen von Wellenberg und Tal herbeiführen. Nach Untersuchungen von Mach mit einem künstlich hergestellten Ohrmuschelmodell treffen diese Annahmen aber nicht zu.

Auch über die Rolle der Ohrmuschel beim Richtungshören sind zahlreiche Versuche angestellt worden. Erwähnt seien die von Münnich, die in einem Aufsatz „Ueber die Wahrnehmung der Schallrichtung" beschrieben sind. Als Ergebnis dieser Untersuchungen schreibt dieser Autor der Ohrmuschel nur eine untergeordnete Bedeutung beim Hörakt überhaupt zu. — Die Hornbostel-Wertheimer'sche Zeitdifferenztheorie gibt uns, wie schon oben erwähnt wurde, keine Erklärung für die Lokalisation vor oder hinter uns gelegener Geräusche. Daß wir dennoch den Schallort in dieser Beziehung richtig lokalisieren können, soll eine Aufgabe der Ohrmuschel sein. Ein kleiner Versuch spricht für diese Annahme: Halten wir uns die Hände vor die Ohren mit der Handfläche nach hinten, so wird ein von vorn kommender Schall von rückwärts kommend empfunden. Natürlich muß dieser Versuch in reflexfreien Räumen vorgenommen werden. Auch durch andere geeignete Apparaturen, womit vor allem das subjektive Moment ausgeschaltet wird, konnte diese Täuschung in der Schallrichtung hervorgerufen werden.

Weber nahm an, daß das Trommelfell infolge „seines großen Nervenreichtums" befähigt sei, zu unterscheiden, von welcher Richtung die Schallwellen kämen, da je nach der Lage der Schallquelle im Raum andere Teile des Trommelfelles getroffen werden sollten. Gegen die Bedeutung des Trommelfelles beim Richtungshören spricht die Tatsache, daß die hohen Töne, die dem Labyrinth

vorwiegend durch Knochenleitung zugeführt werden, bei vollständig verschlossenem Gehörgang exakt lokalisiert werden; dieses könnte aber nicht der Fall sein, wenn taktile Vorgänge am Trommelfell das Ausschlaggebende wären. Auch der eine Fall, den Gellé heranzieht, kann nicht das Gegenteil erweisen: Bei einem Patienten war der Gehörgang und das Trommelfell vollkommen anästhetisch, das Hörvermögen war gut, jedoch war es dem Patienten unmöglich, eine Schallquelle auch nur annähernd richtig zu lokalisieren.

Sogar dem Muskulus tensor tympani wurde eine gewisse Rolle beim Richtungshören zugesprochen. Es wurden bei Hunden im Beginn einer Schallempfindung Tensorzuckungen von Hensen beobachtet und Münnich gibt an, daß Herr Professor Schäfer, der ihm bei seinen Untersuchungen als Versuchsperson diente, eine Tensorzuckung beim cri-cri zu spüren meinte, die ihm bei der Schallokalisation zu Hilfe käme.

Der Vollständigkeit halber sei noch die Preyer'sche Bogengangstheorie erwähnt: Durch die Schallwellen werde die Lymphe in den häutigen Bogengängen in Schwingung versetzt, wodurch die in die Ampullen und die Endolymphe hineinragenden Härchen in Mitschwingung geraten sollten. Die Ampullennerven seien dann befähigt, ein Raumgefühl für den Schall, d. h. ein Richtungshören, zu vermitteln und je nach der Schallrichtung würde der eine oder andere Bogengang vom Schall stärker erregt.

Schallwellen, die den Kopf oder bei Luftleitung die Steigbügelplatte treffen, pflanzen sich aber gleichmäßig fort, damit besteht nicht die Möglichkeit, daß die Erregung eines bestimmten Bogenganges isoliert empfunden werden könne.

Die Preyer'sche Theorie wurde später von Münsterberg modifiziert, mußte aber auch in dieser Form aus ähnlichen Gründen wie oben angeführt wieder fallen gelassen werden. Zusammenfassend läßt sich sagen, daß keine der erwähnten Theorien imstande ist, allein eine endgültige befriedigende Erklärung für das Richtungshören zu geben. Man muß daher annehmen, daß dieser komplizierte Vorgang durch Mitwirkung verschiedener Faktoren zustande kommt.

Münnich unterscheidet zwischen den mittelbaren und den unmittelbaren Faktoren. Zu den unmittelbaren rechnet er die „sensitiven Reize". Die auf den Schädel auftreffenden Schallwellen rufen in subjektiv verschieden hohem Maße Reize hervor, die zur Tastsphäre des Gehirns weitergeleitet werden und von hier in Verbindung mit der Hörregion treten. In diesem Zusammenhang seien auch die Versuche von Urbantschitsch an Taubstummen erwähnt. Er wies an mehreren derartigen Fällen nach, daß statt der akustischen sensitive Empfindungen auftraten, oder daß die sensitiven den akustischen vorausgingen. Hiergegen läßt sich aber einwenden,

daß bei leisen Tönen der Schwellenwert für taktile Reize der Haut weit unter demjenigen des Hörnerven liegt.

Zu den mittelbaren Faktoren rechnet Münnich unbewußt ausgeführte Kopfbewegungen, den Gesichtssinn und die Erfahrung.

Es wurde wiederholt angenommen, daß die Fähigkeit der Schallokalisation sich beim Einzelindividuum mit Hilfe des Gesichtssinnes entwickle. Dies bestätigen auch Versuche mit Schwerhörigen, die von Politzer, Münnich und Meyer ausgeführt wurden und die ergaben, daß bei seit kurzer Zeit bestehender Schwerhörigkeit das Lokalisationsvermögen mangelhaft ist, während diese Fähigkeit wiederkehrt, wenn die Schwerhörigkeit längere Zeit besteht. In diesem Sinne ist auch eine Selbstbeobachtung Bezolds zu werten, der, nachdem er lange Zeit hindurch an hochgradiger Schwerhörigkeit gelitten hatte, noch bei wiedererlangtem normalen Gehör die Schallquelle meist nach dem früher besser hörenden Ohr verlegte. Nach sechs Wochen hatte er die richtige Lokalisation wieder erlernt.

Um die Frage, welche Rolle die Erfahrung beim Richtungshören spiele, zu klären, versuchte Meyer festzustellen, wann das Lokalisationsvermögen bei Säuglingen auftrete. Er studierte das Erwachen dieser Fähigkeit bei Säuglingen zu einer Zeit, wo Bewußtsein, Intelligenz und andere höhere geistige Fähigkeiten noch nicht vorhanden sind. Unter dem gleichen Gesichtspunkt machte er Versuche mit erwachsenen und jungen Tieren. Er stellte fest, daß die Entwicklung des Hör- und Lokalisationsvermögens beim menschlichen und tierischen Säugling in genau derselben Weise vor sich gehe. Er unterscheidet verschiedene Stadien der Entwicklung: das erste ist das des Neugeborenen, der auf nichts reagiert. Dann kommt das zweite Stadium, in dem der Säugling, wenn Amme oder Mutter ihn ruft, aufschreckt und Bewegungen macht, aber noch nicht nach einer Schallrichtung sucht. Im nächsten Stadium sucht er bereits die Stimme, indem er mit dem Kopf Bewegungen macht, zu dieser Zeit reagiert er auch meist schon auf fremdartige Geräusche. Dann lokalisiert er deutlich den bekannten Anruf und schließlich auch fremdartige Geräusche. Diese Versuche wurden natürlich unter Ausschaltung des Gesichtssinnes angestellt.

In der gleichen Art wurde mit Elefanten, Löwen, Leoparden, Hunden, Schildkröten, Zebus und anderen Tieren gearbeitet.

Von anderer Seite sind gegen diese Versuche Einwände erhoben worden. Es erscheint zweifelhaft, ob aus dem Verhalten bei Schalleindrücken bei Säuglingen Schlüsse gezogen werden können, weil wir beim Säugling als Kriterium für psychische Reize auf Reaktionen angewiesen sind: auf das erwachende Interesse an äußeren Vorgängen überhaupt. Sowie dieses Interesse zutage tritt, muß jedoch

die Fähigkeit der Wahrnehmung der Schallrichtung als schon vorhanden angenommen werden, da die Reaktionsbewegungen des Kopfes und der Augen in durchaus richtiger Weise erfolgen. Demnach wäre hierbei keine Aneignung durch Erfahrung erforderlich, wie sie beim Auge ja bekanntlich unter Zuhilfenahme des Tastsinnes stattfindet.

Bei Blinden steht die Frage im Vordergrund: Kann ein Blinder besser lokalisieren wie ein Sehender? Gall und Dufour beschreiben Blinde, die auf bloßes Klopfen nach der Scheibe schießen oder kegeln können. Nach Truschel beruht der sechste Sinn der Blinden auf einer Reizung des Gehörorganes durch reflektierte Schallwellen. In der Regel solien es Veränderungen der Tonhöhe eines von dem Blinden, falls er selbst in Bewegung ist, erzeugten Geräusches bei Annäherung an einen äußeren Gegenstand sein, oder, falls er selbst in Ruhe ist, werden von diesem irgendwelche objektive Geräusche reflektiert. Es liegt aber nahe anzunehmen, daß das verfeinerte Hörvermögen der Blinden in Analogie mit dem verfeinerten Tastsinn zu setzen ist. Bezüglich des letzteren haben die objektiven Untersuchungen ergeben, daß die Tastzellen bei Blinden genau so angeordnet sind wie bei Sehenden, der Blinde hat eben nur gelernt, durch den Verlust seines Augenlichtes dazu gezwungen, von diesen erhöhten Gebrauch zu machen und so durch Uebung größere Erfahrung in der Erkennung von Gegenständen durch den Tastsinn erlangt.

Interessant ist auch, daß Tiere ohne Ohr — im Sinne einer Sinnesphysiologie — akustische Richtungen wahrzunehmen vermögen. Beobachtet man z. B. einen Moskito unter dem Mikroskop und schlägt in einiger Entfernung davon eine Stimmgabel an, so sieht man, daß die Fibrillen an der Antenne durch die Schallwellen verschieden stark in Mitschwingung versetzt werden. Sofort bewegt sich das Moskito mit seinem Körper in die Richtung der Antenne, deren Fibrillen anfänglich am stärksten schwangen, um dann schnurstracks auf die Schallquelle zuzufliegen. Auch für Fische wird auf Grund zahlreicher Experimente behauptet, daß sie mit großer Genauigkeit auf eine sie interessierende Schallquelle zuschwimmen (Frisch und Denker).

Alle diese zahlreichen Versuche an den verschiedensten Lebewesen mit den verschiedenen Methoden sind nicht imstande, die physiologischen Vorgänge beim Richtungshören aufzudecken. Diese sind sicher sehr komplizierter Art. Nach Ansicht mancher Autoren spielen sie sich nicht allein im Gehörorgan ab, sondern in den höheren Zentren des Gehirns. Dies würde ja auch nicht gegen die akustischen Theorien sprechen.

Es sind in dieser Hinsicht sehr interessante Versuche an verschiedenen Nerven- und Geisteskranken vorgenommen worden und J. Meyer beschreibt Fälle mit Affektionen des Zentralnervensystems mit besonderer Beteiligung des Gehirns, bei denen das Lokalisationsvermögen fehlte, ohne daß das Gehör alteriert war. Jedoch ist man auch auf diesem Gebiet noch zu keiner endgültigen Klärung aller Fragen gekommen.

II.

Während des Krieges hat das Richtungshören angefangen, eine allgemeine, größere praktische Bedeutung zu erlangen. Es war außerordentlich wichtig, die Stellung feindlicher Geschütze, die Richtung herannahender feindlicher Flugzeuge und die verdeckte Fahrt der Unterseeboote festzulegen.

Diese praktischen Versuche, die zum größten Teil von Hornbostel und Wertheimer, von W. und H. Marx und anderen durchgeführt wurden, seien hier kurz erwähnt.

Das von W. Marx angegebene Verfahren beruhte auf folgender Einrichtung: An drei trigonometrisch genau vermessenen und seitlich etwa 2 km voneinander entfernten Stellen befand sich je ein senkrechter Pfahl, auf dem oben auf der Spitze, etwa in Augenhöhe, ein Nagel eingelassen war. In etwa 5 m Abstand war ein Teilkreis angebracht. Hinter jedem Pfahl stand nun ein Beobachter und versuchte möglichst genau die Richtung festzustellen, aus der die Abschüsse erfolgten. Die Ergebnisse wurden durch Linien auf Karten eingetragen und die drei Linien mußten sich, wenn genaue Beobachtung vorlag, in einem Punkte schneiden, der dann den Standort des Geschützes angab. Bei weniger genauen Arbeiten der Beobachter ergab sich ein fehlerzeigendes Dreieck. Eine einmalige Beobachtung war naturgemäß nicht allzu genau, der betreffende Schall mußte mehrmals gehört werden, das Geschütz mußte also mehrmals hintereinander feuern. Die Anschneidestellen mußten auf ebenen Hochflächen oder Hochständen liegen, sie durften keine wesentlichen Bodenerhebungen vor sich haben. Auch stärkere Luftbewegungen beeinflußten die Richtungsangaben ungünstig.

Immerhin konnte auf Grund mehrfacher Beobachtungen der Standort des feindlichen Geschützes so weit festgelegt werden, daß der Höchstfehler bei 4000 m nur 20 m, bei 6000 m nur 30 m betrug. Hierbei spielte auch die Uebung des Beobachters eine große Rolle. Von einer gut durchgebildeten Mannschaft konnte verlangt werden, daß sie die Quelle eines 3000 bis 7000 m entfernten knallähnlichen Geräusches so genau festlegen konnte, daß der größte Fehler nicht über 5 bis 10 Tausendstel der Entfernung betrug.

Diese einfache Methode genügte aber nicht, um die Richtung der herannahenden feindlichen Flieger zu bestimmen. Das Flug-

zeug änderte ja mit ziemlicher Geschwindigkeit dauernd seinen Ort. Es hätte also viel zu lange gedauert, die Resultate der Beobachtungen von drei Stellen einzuholen. Hier mußte ein einzelner allein die Festlegung der Schallrichtung vornehmen. Mit bloßem Ohr hätte dies aber naturgemäß äußerst ungenaue Resultate ergeben.

Eine Verfeinerung der Methode ließ sich durch die von Hornbostel-Wertheimer'sche Zeitdifferenztheorie erreichen. Nach dieser ergibt sich ja ohne weiteres, daß eine größere Genauigkeit der Richtungsfestlegung möglich wird, wenn durch Verlängerung der Ohrbasis eine Vergrößerung des Zeitunterschiedes zustande kommt. Man montierte daher zwei große Aufnahmetrichter in 2 m Entfernung auf einem drehbaren Gestell auf und führte zu den Ohren des Beobachters zwei Verbindungsschläuche von diesen Trichtern aus. Nun ist natürlich der subjektiv empfundene Richtungswinkel mit der objektiven Schallrichtung nicht mehr identisch. Die Formel $s = K \sin \varphi$ mußte in die Formel $s = B. \sin \varphi$ umgewandelt werden, wobei mit B der Abstand der beiden Hörtrichter voneinander, also die akustische Basis des binauralen Hörens gemeint ist. Die praktische Anwendung dieser Abhorchgeräte erfolgte nun nicht durch Festlegen der seitlichen Abweichung von der Medianlinie und zeitraubende Umrechnung aus der Formel, sondern, wie der Fachausdruck dafür lautete, man pendelte sich mit dem Gerät in die Schallrichtung ein, d. h. man drehte den Apparat so lange hin und her, bis die Schallquelle in die Mittellinie gebracht war.

Nach ähnlichem Prinzip wurden von Wätzmann und Gruschke Richtungshörer zum Abhorchen von Miniergeräuschen konstruiert. Hierbei benützte man statt der beiden Hörtrichter zwei besonders für die Aufnahme von Bodenschall geeignete Mikrophone.

Ebenso wurden für den Unterwasserschall Richtungshörer, sogenannte Wasserschädel gebaut. Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls im Wasser ungefähr 4,3mal größer ist als in der Luft, muß auch der Abstand der verwandten Schallaufnahmegeräte, meistens waren es Mikrophone, 4,3mal größer sein als die Konstante $K = 21$ cm, damit der subjektiv festgestellte Winkel mit dem objektiven Einfallswinkel übereinstimmt. Die Schallaufnahmegeräte mußten wegen ihrer größeren räumlichen Entfernung fest an die Bordwand des Schiffes montiert werden, mit einer derartigen Anlage war natürlich ein Einpendeln in die Schallrichtung nicht möglich. Man leitete daher den die Aufnahmegeräte treffenden Schall durch einen Stromkreis über 2 Telephone zu den beiden Ohren. Da die Genauigkeit der Richtungsbestimmung mit zunehmender Seitlichkeit der Schallquelle nachläßt, baute man Kompensatoren dazwischen, d. h. man brachte die beiden Telephone nicht unmittelbar an die Ohren heran, sondern schaltete eine Luftstrecke dazwischen.

Diese Luftstrecke konnte variiert werden, so daß der Weg Telephon—Ohr beiderseitig verschieden lang wurde und man auf diese Weise einen künstlichen Medianeindruck erreichte, genau so als wenn beide Mikrophone bewegt würden. Auf einer Skala wurde dann die Wegstreckendifferenz abgelesen und ohne Umrechnung die Schallrichtung ermittelt.

In der letzten Zeit des Krieges wurden derartige Apparate mit Kompensatoren auf Unterseebooten eingebaut. Auch auf feindlicher Seite ist von dieser Methode ausgiebig Gebrauch gemacht worden. Den Unterseebootjägern wurde auf diese Weise ihre Arbeit leicht gemacht, hatten sie einmal ein U-Boot angepeilt, so fuhren sie auf den Schall, der von der Schiffsschraube verursacht wurde, zu und konnten so das U-Boot selbst bei diesigem Wetter und des Nachts dauernd verfolgen, ohne daß dieses entkommen konnte.

In Friedenszeiten spielten derartige Richtungsbestimmungen natürlich eine weit geringere Rolle. Immerhin machte sich die Handelsschiffahrt die im Kriege gemachten Erfahrungen zunutze. Unterwassersignale und Bojen wurden in der obenerwähnten Weise angepeilt. Weiterhin wurde die Fahrtgeschwindigkeit des Schiffes mit Hilfe des Richtungshörens bestimmt. An Bug und Heck des Schiffes wurde zur Aufnahme des Schalls ein Unterwassermikrophon angebracht. In der Mitte zwischen beiden befand sich ebenfalls außenbords eine Vorrichtung, durch die ein kurzes Geräusch hervorgerufen werden kann. Ist das Schiff nicht in Fahrt, so werden die von dort ausgehenden Schallwellen gleichzeitig an beiden Mikrophonen eintreffen und durch die Telephone zu den Ohren geleitet werden sie den Mitteneindruck hervorrufen. Ist das Schiff jedoch in Fahrt voraus, so werden die von dort ausgehenden Schallwellen mit einem der Fahrtgeschwindigkeit entsprechenden Zeitunterschied eher das hintere Mikrophon erreichen und durch einen dazwischen geschalteten Kompensator läßt sich an einer geeichten Skala die Fahrtgeschwindigkeit ablesen.

In ähnlicher Weise wurde auch die Windgeschwindigkeit von meteorologischen Stationen gemessen. Denkt man sich das oben beschriebene Gerät zur Feststellung der Fahrtgeschwindigkeit auf die Luft übersetzt, so ist der Mechanismus damit erklärt.

C.

Nach diesen Erörterungen über die Theorien des Richtungshörens und seine praktische Anwendung soll nun untersucht werden, welche Rolle das Richtungshören im Großstadtverkehr spielt.

Dazu wurden an fünf belebten Plätzen Münchens Versuche unternommen mit fünf verschiedenen Versuchspersonen, die sämtlich normales Hörvermögen besaßen. Als Zeitpunkt wurden teils die Vormittags-, teils die Nachmittagsstunden eines Wochentags gewählt, also eine Zeit, in der ziemlich lebhafter Verkehr herrschte.

Die Versuchsanordnung war folgende: Die Versuchsperson mußte sich auf bestimmten, auf den beiliegenden Plänen mit einem Kreuz bezeichneten Stellen des betreffenden Platzes aufstellen und gerade vor sich hinsehen. Sie war vorher über die Hauptrichtungen des Platzes, aus der Kraftfahrzeuge kommen, orientiert worden, außerdem handelte es sich auch nur um Personen, die soweit über die Hauptplätze Münchens orientiert sind, daß sie die Karte des betreffenden Platzes sozusagen im Kopfe haben. Sie wurden nun aufgefordert, ohne den Kopf dabei zu bewegen, die Richtung der jeweils ertönenden Signale vorbeifahrender Autos anzugeben, d. h. zu bezeichnen, an welchem Punkt des Platzes das Hupensignal von dem Fahrer abgegeben worden war. Den Verkehrsregeln zufolge waren diese Punkte, je nach der Fahrtrichtung des betreffenden Wagens, so ziemlich immer dieselben, so daß die Versuchsperson meist direkt angab, der Wagen fährt in der und der Richtung oder er kommt aus dieser oder jener Straße heraus. Nicht verwertet wurden sämtliche Angaben, die auf Grund eines Motorgeräusches oder anderen die Fahrt des Wagens begleitenden Lärms gemacht wurden; die angeführten Ergebnisse beziehen sich also nur auf Hupensignale. Streng ausgeschlossen wurde auch die Mithilfe des Gesichtssinnes, unter dessen Kontrolle, wie ich an mehreren derartigen Versuchen beobachten konnte, der Prozentsatz der richtigen Angaben sich wesentlich erhöhte. Die Versuchsperson wurde also angehalten, den Kopf nicht zu bewegen, sondern ruhig vor sich hinzusehen. Die Angaben wurden von einer der nebenstehenden Person mit Auge und Ohr kontrolliert und aufnotiert. Es wurde dabei unterschieden zwischen richtigen, unrichtigen und unbestimmten Angaben. Bei den letzteren hatte die Versuchsperson wohl ein Hupensignal vernommen, war aber nicht imstande gewesen anzugeben, aus welcher Richtung des Platzes es gekommen war. Die Ergebnisse dieser Versuche sind auf beigefügten Tabellen wiedergegeben worden. Der Pfeil auf den Plänen gibt den jeweiligen Standpunkt an, die Versuchsperson hielt das Gesicht in der Richtung des Pfeiles gewandt.

Am Sendlinger-Tor-Platz wurden von vier, am Karlsplatz, Marienplatz und Bahnhof von je zwei und am Odeonsplatz von einer Stelle des Platzes aus Versuche unternommen. Die jeweilige Versuchsperson ist am Kopfe der Tabelle angegeben.

Auf einer Uebersichtstabelle wurden die Gesamtergebnisse der einzelnen Plätze eingetragen. Ein Vergleich dieser Resultate lehrt, daß sie auf den einzelnen Plätzen nicht wesentlich verschieden ausgefallen sind. Der durchschnittliche Prozentsatz der richtig angegebenen Signale beträgt 50,2%. Am weitesten unter dieser Durchschnittslinie liegen die am Odeonsplatz gewonnenen Ergebnisse, hier sind nur 44,9% aller Signale richtig angegeben worden. Dann folgen die am Marienplatz erzielten Resultate mit 45%, die am

Sendlinger-Tor-Platz mit 44,8%, am Karlsplatz mit 52% und am Bahnhofplatz mit 68,4% richtigen Angaben. Diese Unterschiedlichkeit der gewonnenen Resultate verlangt natürlich eine Erklärung. Die Versuchspersonen können nicht die ausschlaggebende Rolle hierfür gespielt haben. Einmal waren es ja immer dieselben, außerdem habe ich überhaupt den Eindruck bekommen, als ob die Fähigkeit des Richtungshörens bei normal hörenden Personen in ziemlich gleichem Maße vorhanden wäre. Nur machte sich bei allen nach längerer Zeit fortgesetzten Versuchen die Ermüdung fühlbar und führte zu häufigen Verwechslungen der Schallrichtung, so daß die Versuche unterbrochen werden mußten. Einen Unterschied zwischen Kraftfahrer und anderen Personen habe ich nicht feststellen können. E. E. und E. S. waren routinierte Autofahrer; sie haben nicht mehr richtige Resultate geliefert wie die anderen Personen.

Erwähnt sei hier eine Bemerkung, die die Versuchsperson spontan wiederholt geäußert haben, sie gaben alle an, daß großer Lärm auf dem betreffenden Platz ihre Angaben wesentlich erschwere; so wurde auch das Rauschen des Brunnens am Sendlinger-Tor-Platz als störend empfunden bei den Versuchen, die direkt am Brunnen stehend unternommen wurden.

Am Karlsplatz und am Bahnhof erfolgten die Signale der dort üblichen Verkehrsordnung zufolge meist in ziemlicher Entfernung von dem gewählten Standort aus, es ist aus der Uebersichtstabelle ersichtlich, daß dieser Umstand auch die Angaben nicht ungünstig beeinflußt hat.

Es kann sich also nur darum handeln, daß die Eigenart des Platzes selbst und der sich auf den Zufahrtsstraßen abspielende Verkehr eine Rolle bei der Verschiedenheit der Resultate spielt. Bezüglich des Verkehrsreichtums dürften Marien-, Karls- und Sendlinger-Tor-Platz sowie auch Bahnhof auf einer Stufe stehen, verkehrsärmer ist der Odeonsplatz und doch wurden gerade hier die schlechtesten Resultate erzielt. Vergleichen wir dagegen die Größe der einzelnen Plätze miteinander, so fällt auf, daß auf dem Odeons- und Marienplatz, den kleinsten der fünf Plätze, die Resultate am schlechtesten waren. Diese beiden Plätze sind umgeben von hohen und breiten Gebäuden, die natürlich eine gute Reflektion abgeben. Es muß daher die Frage, ob die Reflektion eine entscheidende Rolle spielt, näher untersucht werden.

Vergleicht man die Ergebnisse meiner Versuche mit denen, die von H. und W. Marx während des Krieges bei ihren Untersuchungen erzielt wurden, so fällt auf, wieviel günstiger die Marx'schen Versuche ausgefallen sind. Man muß dazu bedenken, daß H. und W. Marx sich in ihren Versuchsbedingungen wesentlich von meinen unterscheiden, und zwar durch folgende Punkte:

Bei der Feststellung der Richtung feindlicher Flugzeuge handelt es sich um langgezogene, gewissermaßen stationäre Schall-

quellen, somit war ein Dauereindruck vorhanden, dessen Korrektur längere Zeit hindurch möglich war.

Bei der Feststellung des Standortes feuernder feindlicher Geschütze dagegen handelt es sich um nichtstationäre Schallquellen, jedoch wurden in diesem Fall von ein und demselben Ort mehr oder weniger häufig durch Abgabe der verschiedenen Schüsse immer wieder neue Impulse erzeugt, so daß der Beobachter die Richtung nicht auf Grund eines einzigen, sondern mehrerer hintereinander folgender Impulse feststellt und somit Gelegenheit hat, sich langsam aber desto sicherer die Schallrichtung gewissermaßen einzupendeln.

Im Straßenverkehr abgegebene Hupensignale erfolgten dagegen in der Regel nur einmal, so daß eine Korrektur des ersten Eindrucks nicht möglich ist.

Die Genauigkeit des Richtungshörens ist aber auch von der Uebung der Versuchspersonen abhängig; auch darin war Marx im Vorteil, er betont selber, daß er mit einer geschulten Mannschaft gearbeitet hat.

Vor allem aber, und dem dürfte wohl die größte Bedeutung zukommen, bei den Marx'schen Versuchen spielte die Reflektion der Schallwellen an irgendwelchen, den Platz umstehenden Häusern und Gebäuden keine Rolle. Marx hat bei seinen Versuchen selbst darauf hingewiesen, daß die Reflektion von Waldstücken, Erderhebungen usw. die Resultate ungünstig beeinflußt habe.

Der Reflektion kommt bei den Resultaten meiner Stadtversuche sicherlich eine ausschlaggebende Rolle zu. Ich möchte auch annehmen, daß die Unterschiede in den Prozentzahlen der Ergebnisse auf den einzelnen Plätzen darauf zurückzuführen sind.

Am Odeonsplatz mag die Feldherrnhalle ungünstig gewirkt haben, der Marienplatz ist ein enger, von Gebäuden dicht umstandener Platz, während Bahnhof-, Karls- und Sendlinger-Tor-Platz weiter und freier sind.

Um den wichtigen Faktor der Reflektion auszuschalten, unternahm ich weitere Versuche auf möglichst reflexfreien und verkehrsarmen Landstraßen.

Der erste Versuch fand auf einer Wiese statt, welche an drei Seiten von hohem Baumbestand umgeben war, an ihrer vierten Seite führte die Landstraße München—Grünwald vorbei. Die Angaben wurden hier von drei Personen zugleich gemacht und dann mit einer von der Kontrollperson geführten Tabelle verglichen. Die Prozentzahlen der falsch angegebenen Signale sind:

Versuchsperson K.: 35,9%
„ P.: 42,4%
„ Sch.: 44,9%

Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Fehlerzahl von 41,1%.

Der zweite Versuch wurde auf einer freien Strecke der Straße München—Starnberg unternommen, und zwar an der Stelle, an der die vom Waldfriedhof kommende Straße einmündet. Die Angaben stammen von einer Versuchsperson, sie lauten schon wesentlich besser. Es wurde nur ein Falschhören von 25% erzielt.

Um aber die Frage der Reflektionseinwirkung einwandfrei zu klären, wurden in folgender Weise künstliche Versuchsbedingungen geschaffen:

Auf freiem Felde vor dem Flugplatz von Oberwiesenfeld wurden in einer Reihe drei normal hörende Personen aufgestellt, die mit den entsprechenden Tabellen ausgestattet waren, in die sie ihre Angaben eintragen konnten. In einer Entfernung von 40 bis 60 m von diesen Versuchspersonen wurden nach den vier Himmelsrichtungen hin Personen aufgestellt mit vier gleich abgestimmten, eintönigen Autohupen, die auf ein bestimmtes Signal hin mit gleicher Intensität nacheinander hupten. Die Zeichen für die Signalgeber wurden von einer Person nach einer Kontrolltabelle abgegeben. Im Norden des Versuchsplatzes befand sich das stark reflektierende Flughafengebäude. Die an dem Tag herrschende Windrichtung war nordwestlich und beeinflußte, um das gleich vorweg zu nehmen, die Resultate keineswegs, d. h. es war gleich, wie die Versuchspersonen zur Windrichtung standen. Auch eine Vergrößerung der Entfernung der Signalgeber von den Versuchspersonen hatte keine wesentliche Aenderung der Resultate zur Folge, ebensowenig der Umstand, ob die Signale kurz oder lang abgegeben wurden. Die gewonnenen Resultate sind in beigefügter Tabelle aufgeführt.

Bei Versuch 4 standen die Versuchspersonen mit dem Gesicht je einmal nach Osten, Westen, Süden und Norden hingewendet, bei Versuch 5 wurden besonders lange Signale abgegeben, bei Versuch 6 wurde die Entfernung der Signalgeber von den Versuchspersonen um 20 m erhöht. Die hierbei erhaltene durchschnittliche Fehlerzahl betrug hier 8,75%.

Für einen weiteren Versuch wählte ich im Gegensatz zu den oben beschriebenen einen völlig reflexfreien Platz zwischen Stadtgrenze und Waldfriedhof. Versuchsanordnungen und Stellung der Versuchspersonen waren wie oben beschrieben. Es wurden vier Versuche unternommen: Die Entfernung der Signalgeber betrug bei V 1, 2, 3 40 m, bei V 1 und 2 wurden kurze Signale abgegeben, bei V 2 war es gestattet, entgegen der Versuchsanordnung bei den übrigen Versuchen, den Kopf beliebig zu drehen. Bei V 3 und 4 wurden lange Signale abgegeben, bei V 4 betrug die Entfernung der Signalgeber 70 m. Wie aus beigefügter Tabelle zu ersehen ist, ergab sich hier nur eine durchschnittliche Fehlerzahl von 2%.

Vergleicht man dieses Resultat mit dem des oben besprochenen Versuchs vor dem Flughafengebäude von Oberwiesenfeld, so muß man bedenken, daß hier auf einem völlig reflexfreien Platz gearbeitet wurde, während bei dem Oberwiesenfelder Versuch das stark reflektierende Flughafengebäude ungünstig gewirkt hat.

Diese willkürlich zu beeinflussenden Kontrollversuche ergaben also eindeutig, daß die starken Fehlerquellen, die beim Richtungshören im Lärm- und Straßenverkehr resultierten, in der Hauptsache auf die Reflexion der Schallwellen an den den Platz umgebenden Gebäuden zurückzuführen sind.

Es lag ursprünglich in meiner Absicht, diesen mit normalhörenden Personen angestellten Versuchen solche mit Personen einseitiger Schwerhörigkeit verschiedenen Grades entgegenzusetzen. Es war mir jedoch nicht möglich, diese Absicht durchzuführen, denn um ein einigermaßen einwandfreies Bild zu bekommen, wären hier außerordentlich viele Versuche mit großem Material notwendig gewesen. Auf Anregung von Brünings wurden bereits früher Schallokalisationsversuche mit Schwerhörigen unternommen, welche jedoch bisher zu keinem eindeutigen und kurz formulierbaren Ergebnis gebracht werden konnten.

Ich begnügte mich daher mit einem einseitig Tauben, bei dem vor 2 Jahren wegen akuter Labyrinthitis Labyrinthektomie und Radikaloperation auf der linken Seite vorgenommen werden mußte, Versuche anzustellen. Es muß vorausgeschickt werden, daß es sich hier um einen Automechaniker handelte, der immerhin in Dingen des Verkehrs eine gewisse Routine und Uebung besaß. Hier dürften die Ergebnisse also noch um ein weniges besser ausgefallen sein, wie bei anderen einseitig Tauben.

Die Stadtversuche wurden am Marien- und Sendlinger-Tor-Platz unternommen und sind in beigefügter Tabelle niedergelegt. Der Durchschnittsprozentsatz der richtigen Angaben beträgt nur 35,8%. Dieses Resultat kann ein rein zufälliges sein, denn bei den oben beschriebenen Versuchen auf Oberwiesenfeld und am Waldfriedhof ergaben sich bei diesem einseitig Tauben vollständig unbrauchbare Resultate; eine Korrektur seiner Versuchstabelle war unmöglich, da die wenigen richtig angegebenen Signale rein zufällig richtig ausgefallen sein können. Es machte übrigens hier wie auch bei den obenerwähnten Stadtversuchen keinen Unterschied, ob der Patient mit seinem tauben Ohr in der Schallrichtung stand oder nicht. Man kann wohl also sagen, daß bei einseitig Tauben unter den gegebenen Bedingungen von einer Fähigkeit des Richtungshörens nicht gesprochen werden kann.

D.

Zum Schluß dieser Arbeit bleibt noch die Aufgabe, praktische Folgerungen aus den gewonnenen Versuchsergebnissen zu ziehen. Es wird festgestellt, daß die Wahrnehmung der Schallrichtung von Hupensignalen im Großstadtlärm unter den geschilderten Bedingungen äußerst mangelhaft ist: Bei Normalhörenden wurden im Durchschnitt 50,2% aller Signale richtig, 23,2% falsch und 26,6% unbestimmt angegeben. Als einer der maßgebenden Faktoren für diese schlechten Resultate ist die Reflexion der Schallwellen an Häusern und Gebäuden anzusehen.

Immerhin ergab sich auch bei Versuchen auf einer freien Strecke der Landstraße München—Starnberg ein Falschhören von 25% und selbst bei künstlichen und äußerst günstigen Versuchsbedingungen wurden noch 2% aller Signale falsch angegeben.

Auf Grund dieser Resultate erscheint es fraglich, ob die im neuen Autogesetz geforderte Bedingung die Wahrnehmung der Schallrichtung betreffend, zu Recht besteht, da ja gerade im Großstadtgebiete und nicht auf der verkehrsarmen Landstraße das Hören der Signalrichtung von größter Bedeutung ist.

Diese Frage ist um so wichtiger, weil die unbefriedigenden Ergebnisse der hier aufgeführten Versuche Zweifel darüber bestehen lassen, ob eine wesentliche Verschlechterung des Resultats zustande kommt, wenn sich der Prüfling selbst nicht am ruhigen und ungefährdeten Standort, sondern in einem fahrenden, Geräusch erzeugenden Wagen befindet; ganz besonders wenn es sich um ein geschlossenes Fahrzeug handelt, muß es ohne weiteres als sicher gelten, daß grobe Schallrichtungstäuschungen auch bei geeigneten und gut hörenden Personen schon allein durch einseitiges Offenstehen der Wagenfenster hervorgerufen werden können.

E.

Zusammenfassung.

Die vorliegende Arbeit sollte im Hinblick auf die neue Forderung des Automobilgesetzes vom 15. Mai 1932, die Wahrnehmung der Schallrichtung bei Autofahrern betreffend, die Aufgabe haben, die Fähigkeit des Richtungshörens im Großstadtlärm bei Normalhörenden zu prüfen. Als Voraussetzung für die zu diesem Zweck unternommenen Versuche wurde eine Besprechung der Theorien über die Wahrnehmung der Schallrichtung vorausgeschickt, und zwar der Intensitätstheorie (Kreidl und Gatscher), der Phasendifferenztheorie (Hartley und Fry) und der Zeitdifferenztheorie (von Hornbostel und Wertheimer). Sodann wurden die im

Kriege von W. und H. Marx unternommenen Versuche zur Festlegung der Schallrichtung feindlicher Geschütze und Flugzeuge angeführt, sowie die Konstruktion und Verwendung von Richtungshörern zu verschiedenen Zwecken.

Zur Untersuchung des Richtungshörens im Großstadtlärm wurden Versuche an fünf verschiedenen Plätzen Münchens mit normalhörenden Personen unternommen. Im Durchschnitt wurden 50,2% aller Signale richtig, 23,2% falsch und 26,6% unbestimmt angegeben.

Da diese Ergebnisse in großem Gegensatz zu den von W. und H. Marx bei ihren Versuchen im Krieg erhaltenen stehen, wurde nach einem Grund für diese Unstimmigkeit gesucht. Es stellte sich dabei heraus, daß vornehmlich der Reflexion eine ausschlaggebende Bedeutung zukommt.

Zum Beweis für die Richtigkeit dieser Annahme wurden Versuche auf reflexarmen Landstraßen angestellt, und zwar:

a) auf einer von hohen Waldbeständen umgebenen Landstraße, in der die Beobachter in einer Schneise standen. Hier betrug das Fehlhören 41,1%,

b) auf einer freien Strecke der Landstraße München–Starnberg: 25% aller Signale wurden falsch angegeben.

Weiter wurden unter künstlichen Bedingungen Versuche auf freiem Feld vor dem Oberwiesenfelder Flugzeughafen und zwischen Waldfriedhof und Stadtgrenze angestellt, dabei ergab sich ein Falschhören von 8,75% und im 2. Fall von 2%.

Diese Ergebnisse bestätigten einmal meine Annahme, daß das Richtungsfehlhören im Lärm zum großen Teil auf die Reflexion zurückzuführen ist, zum anderen ergaben sie, daß auch auf reflexfreien Straßen und Plätzen bei einmaligen Geräuschen ein kleiner Prozentsatz falsch lokalisierter Signale vorkommt.

Es wurde sodann das Schallokalisationsvermögen eines einseitig Tauben im Großstadtverkehr und auf der Landstraße geprüft. Als Ergebnis dieser Untersuchungen mußte festgestellt werden, daß unter den gegebenen Bedingungen von einem Richtungshören bei derartigen Patienten nicht gesprochen werden kann.

Zum Schluß wurde als praktische Folgerung aus den gewonnenen Versuchsergebnissen erörtert, daß es fraglich erscheint, ob die im neuen Autogesetz vom 15. Mai 1932 aufgestellte Bedingung, die Wahrnehmung der Schallrichtung betreffend, zu Recht besteht, zumal eine wesentliche Verschlechterung der Ergebnisse erwartet werden muß, wenn sich die Versuchsperson selbst in einem fahrenden und Geräusch erzeugenden Wagen befindet und wenn noch dazu bei einem geschlossenen Fahrzeug durch einseitiges Offenstehen der Fenster grobe Schallrichtungstäuschungen zustande kommen.

Sendlinger-Tor-Platz

Versuchsperson	Gesamtzahl	richtig	falsch	unbestimmt	Standort
I. S.	292	160 = 54,8%	56 = 19,2%	76 = 26,0%	1
H. B.	118	50 = 42,4%	28 = 23,7%	40 = 33,9%	1
E. E.	160	62 = 38,7%	66 = 41,3%	32 = 20,0%	2
C. O.	118	56 = 47,5%	36 = 30,5%	26 = 22,0%	3
E. S.	150	76 = 50,7%	36 = 24,0%	38 = 25,3%	4
H. B.	198	100 = 50,5%	44 = 22,2%	54 = 27,2%	2

Odeonsplatz

Versuchsperson	Gesamtzahl	richtig	falsch	unbestimmt	Standort
E. S.	178	80 = 44,9%	46 = 25,9%	52 = 29,2%	1

Stachus

Versuchsperson	Gesamtzahl	richtig	falsch	unbestimmt	Standort
H. B.	180	88 = 48,9%	28 = 15,5%	64 = 35,6%	1
E. E.	20	16 = 80,0%	4 = 20,0%		2

Marienplatz

Versuchsperson	Gesamtzahl	richtig	falsch	unbestimmt	Standort
C. O.	198	86 = 43,5%	44 = 22,2%	68 = 34,3%	1
J. S.	166	78 = 47,0%	44 = 26,5%	44 = 26,5%	2

Bahnhof

Versuchsperson	Gesamtzahl	richtig	falsch	unbestimmt	Standort
E. S.	154	100 = 64,9%	24 = 15,6%	30 = 19,5%	1
H. B.	70	52 = 74,3%	8 = 11,4%	10 = 14,3%	2

Uebersichtstabelle

Platz	Gesamtzahl	richtig	falsch	unbestimmt
Sendlinger-Tor-Platz	1036	504 = 44,8%	133 = 25,6%	133 = 25,6%
Marienplatz	364	164 = 45,0%	44 = 24,2%	56 = 30,8%
Stachus	200	104 = 52,0%	32 = 16,0%	64 = 32,0%
Bahnhof	222	152 = 68,5%	32 = 14,4%	38 = 17,1%
Odeonsplatz	178	80 = 45,0%	46 = 25,8%	52 = 29,2%

Waldfriedhof

Versuch	B.	R.	Sch.
I.	1 = 1%	3 = 3%	1 = 1%
II.	0 = 0%	1 = 1%	5 = 5%
III.	1 = 1%	1 = 1%	2 = 2%
IV.	4 = 4%	3 = 3%	2 = 2%
Durchschnittl. Fehlerzahl in Prozenten	1,5%	2%	2,5%

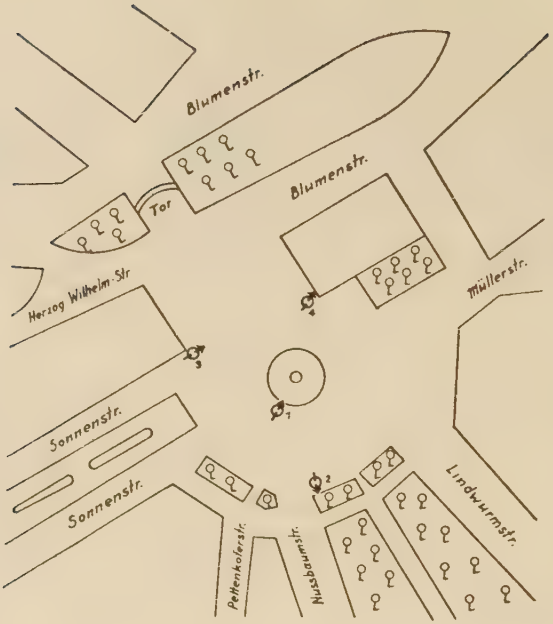
Oberwiesenfeld

Versuch	B.	St.	N.
I.	35 = 17,5%	25 = 12,5%	25 = 12,5%
II.	0 = 0%	0 = 0%	10 = 5%
III.	10 = 5%	35 = 17,5%	45 = 22,5%
IV.	15 = 7,5%	0 = 0%	25 = 12,5%
V.	15 = 7,5%	20 = 10%	20 = 10%
VI.	15 = 7,5%	10 = 5%	10 = 5%
Durchschnittl. Fehlerzahl in Prozenten	7,5%	7,5%	8,5%

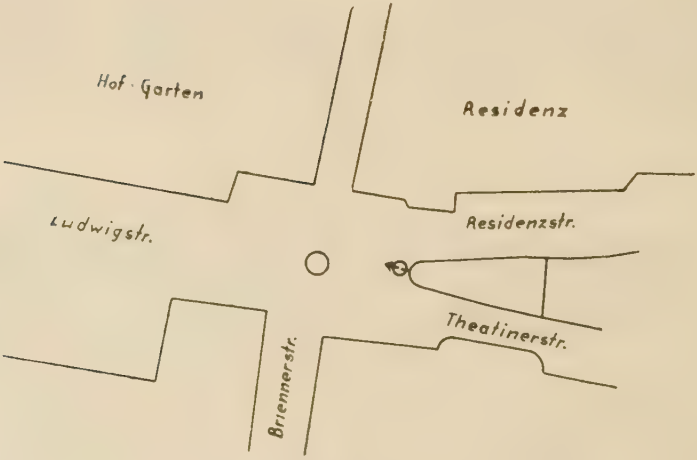
Einseitig Tauber

Platz	Gesamtzahl	richtig	falsch	unbestimmt
Sendlinger-Tor-Platz	300	130 = 43,4%	170 = 56,6%	0 = 0%
Marienplatz	200	54 = 27,0%	146 = 73,0%	0 = 0%
Zusammen:	500	184 = 35,8%	316 = 64,2%	0 = 0%

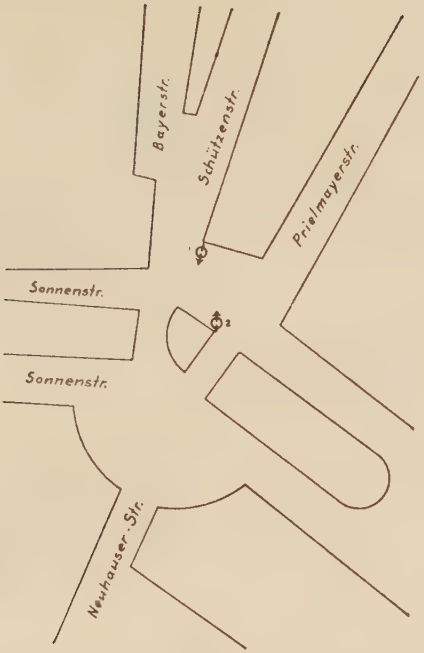
Zum Schluß möchte ich nicht verfehlen, Herrn Professor Dr. Perwitzschky für die Anregung und Unterweisung, die ich bei meiner Arbeit gefunden habe, meinen besten Dank auszusprechen.



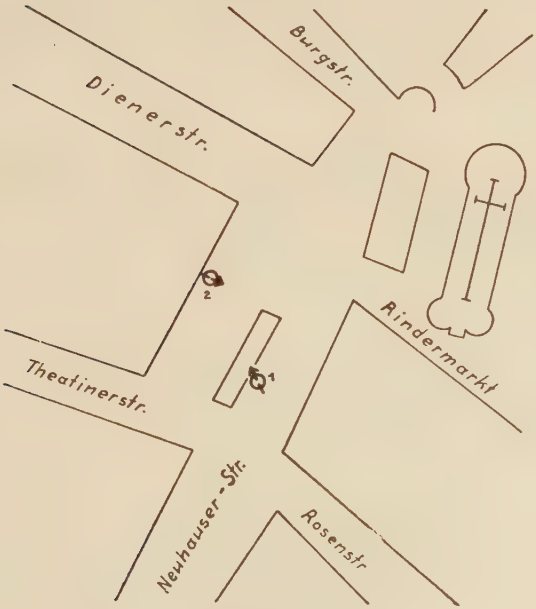
Sendlinger-Tor-Platz



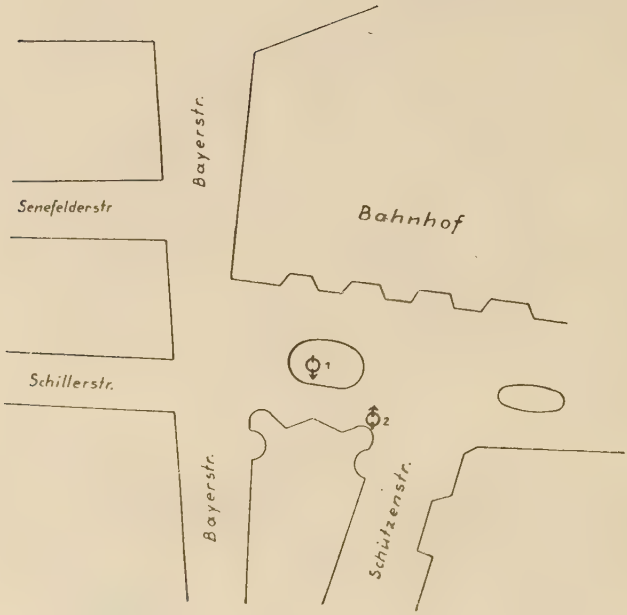
Odeonsplatz



Karlsplatz



Marienplatz


Bayerstr.
Senefelderstr
Bahnhof
Schillerstr.
1
2
Bayerstr.
Schulzenstr.

Bahnhof

Literatur.

Allers, Rudolf Schmiedeck: Ueber die Wahrnehmung der Schallrichtung. Ref. Zentralbl. f. Hals-, Nasen-, Ohrenheilk. 1932.

Baley St.: Versuche über die Lokalisation beim dichotischen Hören. Zeitschr. f. Psych. 70.

— Versuche über die Lokalisation von Tönen. Diese: Beitr. Bd. 7.

Bezold: Urteilstäuschungen nach Beseitigung einseitiger Hörfähigkeit. Zeitschr. f. Psych. 1.

Bloch: Das binaurale Hören. Zeitschr. f. Ohrenheilk. Bd. 24.

Blumenthal A.: Ueber Schallokalisation bei Normalhörigen und Schwerhörigen. Monatsschr. f. Ohrenheilk. und Laryngo-Rhinologie 1918 1. u. 2. Heft.

Ebbinghaus: Grundzüge der Psychologie II. Bd. 1.—3. Aufl. Veit & Co. 1913.

Engelmann: Untersuchungen über die Schallokalisation bei Tieren. Zentralbl. f. Hals-, Nasen-, Ohrenheilk. 1928/12. 1.

Fry K. G.: Theorie des binauralen Hörens, nebst einer Erklärung der empirischen Hornbostel-Wertheimer'schen Konstante. Physik. Zt. 1922. 23. Jahrgang. Nr. 14.

Frey: Ueber die Beeinflussung der Schallokalisation durch Erregung des Vestibularapparates. Monatsschr. f. Ohrenheilk. u. Laryngo-Rhinologie 1912.

Gatscher Siegfried: Das Problem der Schallokalisation. Zentralbl. f. Hals-, Nasen-, Ohrenheilk. 1924/6. Ref.

Geigel: Die Bedeutung der Ohrmuschel beim Hören. Münch. med. Wschr. B. 15. 1902.

Goldstein u. Rosenthal: Ueber akustische Lokalisation und deren Beeinflußbarkeit durch andere Sinnesreize. Zentralbl. f. Hals-, Nasen-, Ohrenheilk. Ref. 1932/10.

Hartley, R. Fry: Physical review Bd. 18. 1921.

Hornbostel: Psych. Forschungen Bd. 4, 1923.

Hornbostel u. Wertheimer: Berl. Ber. 1920.

Hornbostel: Das räumliche Hören. Hdbch. der normalen und pathol. Physiol. 11. Bd. Rezeptionsorgane. 1. Begte, Bergmann, Emden und Ellinger.

Hornbostel: Psycholog. Forschungen Bd. 1. 1922.

Kessel: Ueber die Funktionen der Ohrmuschel bei Raumwahrnehmungen. Arch. f. Ohrenheilk. 18.

Klemm O.: Untersuchungen über die Lokalisation von Schallreizen. Versuch mit einem monot. Beobachter. Psych. Stud. 1913/VI.

Köhler: Tonpsychologie — Ueber die Wahrnehmung der Schallrichtung. Hdb. d. Neurolog. d. Ohres. Herausg. Alexander und Marburg.

Kreidl u. Gatscher: Pflügers Arch. f. die ges. Physiol. Bd. 200. 1923.

— Ueber Schallokalisation. Hdb. d. Neurol. d. Ohres. Herausg. Alexander u. Marburg.

— Zur Frage der Geräuschlokalisation. Zentralbl. f. Phys. 1920/XXXIV. Bd. 11.

v. Kries: Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. Bd. 1. 1890.

— Ueber das Erkennen der Schallrichtung. Zeitschr. f. Psych. I.

Küpper: Ueber die Bedeutung der Ohrmuschel. Arch. f. Ohrenheilk. 8.

Labsien: Ueber binaurales Hören und auffällige Schallokalisation. Zeitschr. f. Psych. 24.

Mach: Bemerkungen über den Raumsinn des Ohres. Poggendorfer Anal. 76.
— Bemerkungen über die Funktion der Ohrmuschel. Arch. f. Ohrenheilkunde. Bd. 9.
Marloth: Welche gesundheitlichen Anforderungen sind an die Gewährung des Autoführerscheins zu knüpfen. Klin. Wschr. 1931 Nr. 36/37.
W. u. H. Marx: Ueber die Wahrnehmung der Schallrichtung. Beitr. zur Anatom. Physiol. Patholog. und Therapie des Ohres, der Nase und des Halses. Herausg. Passow-Schäfer.
Meyer J.: Die Benutzung der Schallokalisation zum Nachweis von Hördifferenzen, ihre Verwertung als Simulationsprobe.
— Weitere Beiträge zur Frage der Schallokalisation. Untersuchungen an Säuglingen und an Tieren. Monatsschr. f. Ohrenheilk. u. Laryngo-Rhinologie.
More u. Fry: On the Appreciation of Difference of Phase of sound Wawes. Philos. Magazine VI.
Münnich: Ueber die Wahrnehmung der Schallrichtung. Beitr. z. Anat. Physiol., Path. u. Therapie d. Ohres, d. Nase u. d. Halses. Herausg. Passow-Schäfer.
Münsterberg: Raumsinn des Ohres. Beitr. z. experimentellen Psychologie 1889.
Perwitzschky: Ueber die Wahrnehmung der Schallrichtung. Probevorlesung gehalten am 5. November 1927.
Pongo-Mario: Ueber Augenreflexe bei Schallokalisation der Blinden. Ref. Zentralbl. f. Hals-, Nasen-, Ohrenheilk. 1924/7.
Preyer: Die Wahrnehmung der Schallrichtung mittels der Bogengänge. Pflügers Arch. 40.
Raileigh: Acoustic obserwations. Phil. Magaz. V. Vol III.
— On our Perception of sound Direction. Phil. Magaz. V. Vol VI.
— Acoustical Notes. Phil. Magaz. V. Vol VI.
— Our Perception of the Direction of source of sound. XIV. P. 32.
— On the Perception of Direction of sound. Proc. of the Royal Society. A. 83.
Reichsges.-Blatt vom 3. Mai 1903 S. 437.
Reichsges.-Blatt vom 21. Juli 1923 S. 743.
Reichsges.-Blatt vom 26. Mai 1932 S. 153.
Schäfer: Ueber die Wahrnehmung und Lokalisation von Schwebungen und Diff. Tönen. Zeitschr. f. Psych. Bd. 1.
Shinn: Körperliche und geistige Entwicklung eines Kindes. 1905.
Steinhauser: Die Theorie des binauralen Hörens. Zeitschr. f. Ohrenheilkunde. 48.
Stenger: Zur Theorie des binauralen Hörens. Zeitschr. f. Ohrenheilk. 48.
C. Stumpf: Tonpsychol. Bd. 2. 1890.
Urbantschitsch: Ueber die Tonlokalisation der Taubstummen. Zeitschrift f. Ohrenheilk. 60.
Weber: Ueber den Mechanismus des menschl. Gehörorganes. Verh. d. kgl. sächs. Ges. d. Wiss. z. Leipzig. Math. Phys. Klasse 1851.
Wundt: Grundzüge der Physiol.-Psychol. V. Aufl. 2. Bd. Engelmann, Leipzig 1902.
Ziehen: Leitfaden der Physiol.-Psychol. X. Aufl. Jena 1914. Fischer.

Lebenslauf.

Ich wurde am 27. Juni 1908 zu München als Tochter des Universitätsprofessors Theodor Bitterauf und seiner Ehefrau Käte, geb. Grober, geboren. Ich besuchte die Volksschule in München und in Huchtingen bei Bremen. Nach dreijährigem Besuch der städtischen Höheren Mädchenschule an der Luisenstraße in München trat ich in die Gymnasialabteilung dieser Anstalt über und erwarb im März 1926 das Reifezeugnis des Realgymnasiums.

Ich studierte elf Semester lang Medizin an der Universität München, legte im Februar 1929 in München die ärztliche Vorprüfung mit dem Prädikat „Gut“ und im Juni 1932 die ärztliche Prüfung mit dem Prädikat „Gut“ ab.

Am 1. September 1932 begann ich mein Medizinalpraktikantenjahr an der Universitätsohrenklinik in München (Prof. Brünings) und vollendete in dieser Zeit meine Doktorarbeit über das Richtungshören.